

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Optimalizace výroby hydraulického dílu zápustkovým kováním

Optimization of the Hydraulic Part
Production by Drop Forging Technology

Student:	František Pobucký
Osobní číslo:	POB0024
Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Ondřej Hilšer

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání bakalářské práce

Student: **František Pobucký**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Optimalizace výroby hydraulického dílu zápustkovým kováním**
Optimization of the Hydraulic Part Production by Drop Forging Technology
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- 1) Proveďte rešerši v oblasti problematiky volného a zápustkového kováání.
- 2) Proveďte rozbor současného stavu kováání daného dílu.
- 3) Navrhněte možné konstrukční nebo technologické úpravy procesu kováání.
- 4) Proveďte detailní rozbor případných návrhů optimalizace.
- 5) Uveďte celkové hodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

DVOŘÁK, M. a kol. *Technologie tváření: Plošné a objemové tváření*: učební texty vysokých škol. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9.
SCHINDLER, I. a KAWULOK, R. *Deformační chování materiálů*: studijní opora. 1. vyd. Ostrava. VŠB-TU Ostrava, 2013. 94 s. ISBN 978-80-248-3361-3.
HAŠEK, V. a kol. *Kováání*. Praha: SNTL-Státní nakladatelství technické literatury, 1965. 732 s.
ELFMARK, J. a kol. *Tváření kovů*. Praha: SNTL-Státní nakladatelství technické literatury, 1992. 524 s. ISBN 80-03-00651-1.
HOSFORD, W. F. a CADDELL, R. M. *Metal Forming: Mechanics and Metallurgy*. 4. vyd. New York: Cambridge University Press, 2011. 344 s. ISBN 978-1-107-00452-8.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ondřej Hilšer**

Konzultant bakalářské práce: Ing. Tomáš Brumar

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020

Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 18.5.2020.....

.....
Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18.5.2010

.....
Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

František Pobucký

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Pobučí 1, 78901 Jestřebí

Prohlášení spolupracující osoby

Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských studijních programech VŠB-TU Ostrava.

Spolupracující osoba:

UNEX a. s. – závod Olomouc

Řepčinská 35/86

779 11 Olomouc

IČ: 45192049

Jméno a příjmení oprávněné osoby:

Vedoucí technologie pan Ing. Tomáš Brumar

V Olomouci dne 9. ledna 2020.



Korespondenční adresa:
Brničko 1032, 783 91 Uničov
DIČ: CZ45192049
IČ: 45192049

UNEX a.s.

Sídlo:
Porážková 1424/20
Moravská Ostrava
702 00 Ostrava

Podpis oprávněné osoby

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

POBUCKÝ, F. *Optimalizace výroby hydraulického dílu zápusťkovým kováním: Bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2020, 46 s., Vedoucí: Hilšer, O.

Bakalářská práce je zaměřena na rozbor problematiky zápusťkového kováání zadaného dílce aplikovaného v rámci hydraulického systému. S ohledem na pravidelné opakování poptávky kováání tvarově shodného dílce je provedení optimalizace výroby technologie zápusťkového kováání možností zvýšení zisku, resp. snížení nákladů výroby daného výrobku. Na základě rozboru technologického postupu prací na kováárně byla navržena technologická úprava operace pēchování. Pēchováním do oboustranného kužele lze docílit přemístění odpovídajícího objemu materiálu a tím zajistit dokování výrobku v předlisovací a dolisovací operaci. Z ekonomického hlediska je dobré využít plnou kapacitu kovacího stroje a ta byla v původním řešení využita na cca. 50%, z tohoto důvodu je návrh kováání dvojkusů opodstatněný a dle výsledků rozboru kovacíh normovaných časů správný.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

POBUCKÝ, F. *Optimization of the Hydraulic Part Production by Drop Forging Technology: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2020, 46 p., Thesis head: Hilšer, O.

The bachelor's thesis is focused on the analysis of the problem of drop forging of a given part applied within the hydraulic system. With regard to the regular repetition of the demand for fittings of a shape-matching part, the optimization of the production of the die forging technology is a possibility to increase the profit, resp. reduction of production costs of the forging. Based on the analysis of the technological process of work on the forge, a technological modification of the upsetting operation was proposed. By stamping into a double-sided cone, it is possible to achieve the transfer of the corresponding volume of material and thus ensure the docking of the forging in the pre-pressing and post-pressing operation. From an economic point of view, it is good to use the full capacity of the forging machine and it was used in the original solution for approx. 50%, for this reason the design of double piece fittings is justified and according to the results of the analysis of forged standard times correct.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	8
Úvod	9
1 Problematika volného a zápusťkového kování	10
1.1 Technologie tváření	10
1.2 Kování	10
1.3 Volné kování	11
1.4 Zápusťkové kování	15
2 Současný stav kování zadané součásti	17
2.1 Technologický postup kování zadané součásti	17
2.2 Kovací strojní zařízení	21
2.2.1 LKZ 2500	21
2.2.2 Strojní nůžky PELS 500	23
2.2.3 Indukční ohřev	23
2.2.4 Ostříhovací lis LDO 350	24
2.2.5 Tryskání	24
3 Návrh optimalizace řešení kování	25
3.1 Návrh rozměrů polotovaru	25
3.2 Zpřesnění pravidla pro kuželovité pýchování	29
3.3 Početní řešení – kužely	31
3.4 Stanovení polotovaru pro pýchování	40
4 Detailní rozbor na návrh pro výrobu dvojkusů	41
Závěr	43
Seznam použité literatury	45
Seznam příloh	46

Seznam použitých značek a symbolů

Zkratka	Jednotka	Název
d, d_1, d_2, d_3	[mm]	průměr menší základny
D, D_1, D_2, D_3	[mm]	průměr větší základny
$d_{stř}$	[mm]	střední průměr
i	[-]	součinitel vyplnění dutin
l_p	[mm]	délka přechované tyče
S	[mm ²]	plocha
V_t	[mm ³]	objem tvarovacího úseku
β	[-]	poměrná délka přechované části
ϵ_k	[-]	průměr kuželovité dutiny
η	[-]	konstrukčně dovolená mez
λ	[-]	hloubka dutiny lisovníku
Π	[-]	Ludolfovo číslo
ψ	[-]	poměrná délka

Úvod

Kování představuje jednu z nejstarších technologií zpracování slitin železa a neželezných kovů a také v současné době zastává významnou roli v oblasti strojírenské výroby. Podstatnou úlohu zastává volné kování litých ingotů z nízko a středně-uhlíkových ocelí, ale také z ocelí vysokolegovaných a slitin pro aplikace v specifických podmínkách.

Pro možnost zajištění plnění poptávek zákazníků se modernizuje vybavení kováren, zejména s ohledem na snížení produkčních časů. Proto je v dnešní době kování prováděno na kovacíh linkách osazených pecí s plynovým nebo indukčním ohřevem, vlastním kovacím lisem nebo bucharem, ostřihovacím lisem a případně zařízením pro řízené ochlazování výkovků. S ohledem na ergonomii je podstatným polo nebo plně automatický manipulátor. Ve vztahu k charakteru výroby v kovárně lze v dnešní době pozorovat, zejména v oblasti výroby výkovků pro automatické, plně robotizovaná pracoviště zápusťkových výkovků.

S ohledem na relativně vysoké finanční náklady kovárny, vybavenými moderními nebo modernizovanými stroji, zastává v první řadě důležitou úlohu možnost optimalizace stávající výroby ve vztahu k úpravě technologickému postupu, resp. konstrukčnímu řešení uspořádání kovacíh operací.

Bakalářská práce je zaměřena na možnost optimalizace výroby součástí, používané pro aplikaci v hydraulice, technologií zápusťkového kování. Práce je vyhotovena ve spolupráci s kovárnou firmy Unex, a.s., kde se daný výkovek vyrábí. V dané firmě jsou vyráběny tvarově i hmotnostně jednoduché i složité výkovky z uhlíkových i slitinových ocelí na klikových lisech LZK 4000 a LZK 2500. Také jsou v této firmě kovány dílce na bucharech EK 13 a B 1000.

1 Problematika volného a zápustkového kování

1.1 Technologie tváření

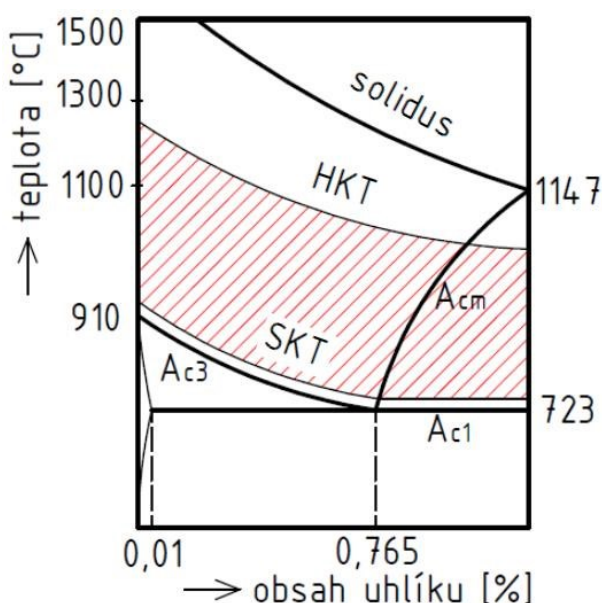
Tváření je technologický proces, při kterém dochází k cílené změně rozměrů (tvaru) tvářeného materiálu dle navrženého technologického postupu. Tváření představuje proces, při kterém nedochází k úběru materiálu a lze jej rozdělit:

- plošné,
- objemové.

Do již zmíněného plošného tváření řadíme stříhání, ohýbání, rovnání, tažení. Do druhého způsobu tváření zvané objemové tváření patří kování, válcování a protlačování.^{1,2}

1.2 Kování

Kování patří do skupiny objemového tváření za tepla (proces je realizován při teplotách vyšších, než je T_{REK} tvářeného materiálu), a je významnou technologií při zpracování kovů v průmyslové praxi. Při kování získáváme tvary požadovaných rozměrů a lepší mechanické vlastnosti. S ohledem na snížení tvářecích sil, je před kovááním polotovar nahřát na adekvátní kovací teplotu, která je v případě nízko-uhlíkových ocelí v rozsahu 800-1200°C (obr. 1). Přičemž teplota ohřevu se pohybuje při horní kovací teploty daného materiálu. Kování není limitováno pouze na oceli, ale v dnešní době, při využití moderních poznatků z oblasti tváření a materiálů lze vykovat výkovek i z hůře tvářitelných materiálů jako jsou např. austenitické oceli nebo slitiny neželezných kovů (Al, Mg nebo Ti), které vyžadují speciální podmínky tváření.^{1,2}



Obrázek 1 – Grafické znázornění oblasti vhodných kovacích teplot oceli

Produktem technologie kování je tzv. výkovek. Výkovek vzniká postupným přetvářením výchozího polotovaru působením vnější síly, která je vyvolaná lidskou silou, tedy tzv. kovářem (ruční kování) nebo tvářecím strojem (strojní kování).–Ruční kování, které v dnešní době používají umělečtí kováři, je ze silového hlediska poměrně náročnou technologií a je tedy vhodné pro menší výkovky kusové nebo malosériové výroby. Průmyslově se využívá strojní kování, které je charakteristické využitím kovacíh strojů a lze tedy v poměrně krátkém čase vyrobit velký počet shodných výkovků (sériová až hromadná výroba).²

Strojní kování lze z hlediska využití tvářecích nástrojů rozdělit na:

- volné kování,
- zápusťkové kování.

1.3 Volné kování

Při volném kování je materiál tvářen rázy nebo tlaky stroje, kdy materiál volně teče v směru kolmém k působící síle. Výchozím polotovarem k volnému kování jsou předvalky a ingoty, které jsou ve tvaru hranolu nebo komolého jehlanu, potažmo kužele. Jeho délka závisí na způsobu jeho výroby nebo na požadavcích, které se vyžadují k jeho následnému hutnímu zpracování. U volného kování je hlavní účel získání jakostních výkovků s nesrovnatelně lepšími vlastnostmi v porovnání s odlitky, které mají hmotnost v řádech jednotek kilogramů až desítek tun a dále slouží jako polotovar pro následující výrobní technologie. Volné kování se dělí na kování ruční a strojní.

Ruční kování probíhá na kováčtině pomocí kovářského nástroje a kovářské výhně, ve které probíhá ohřívání materiálu. Kovadlina (viz. obr. 2) je základní zařízení všech kováren a je upnuta ke stolu pomocí rybinových částí nebo šroubů. Kovadliny se odlévají ze speciálních kováčtinových ocelí. Hlavní pracovní plocha je kalená a leštěná. Hmotnost kováčtiny se volí dle hmotnosti nejtěžšího kusu, který máme v plánu kovat. Nejvíce používané kováčtiny mají hmotnost v rozsahu 100 až 150 kg.^{1,2}



Obrázek 2 – Kovářská kovadlina, používaná při ručníkování

Strojní kování se provádí za pomoci bucharů nebo lisů. Využití kovacího stroje zvyšuje efektivitu výroby kovaných součástí. Hlavní důraz je kladen na minimalizaci spotřeby materiálu, jakost výkovku a jeho přesnost a na ergonomii a ekonomičnost provozu.^{1,2}

Mechanické lisy

Mechanický lis je tvářecí zařízení, jehož funkce jsou mechanicky ovládány za pomoci pák, systému kloubových spojení a vřetenových lisů. Odlišné procesy lisování zahrnují pneumatické lisy používající stlačený vzduch nebo hydraulické lisy používající hydraulickou kapalinu. Mechanické lisy mají omezenou úroveň vyvinutého tlaku. Nejčastěji se používají pro ražení a lehké až středně přetvářecí práce.

Mechanické lisy jsou tvořeny rámem, zvedacím mechanismem, lisovacím nástrojem a pohonnou jednotkou. Kromě manuálně ovládaných jsou lisy rovněž elektricky ovládané lisy.²

Hydraulické lisy

Hydraulický lis působí na tvářený materiál klidným tlakem a dokáže daný materiál prokovat v celém jeho průřezu. Buchar působí rázy a tudíž prokování proběhne jen do určité hloubky. Volně kované výkovky se navrhují na co nejjednodušší tvar. Jejich rozměry jsou zvětšeny o technologické přídatky na obrábění. Přičemž musíme znát výkres výkovku.⁵ Příklad použitého hydraulického lisu pro kování menších výkovků je uveden na Obr. 3.



Obrázek 3 – Příklad hydraulického lisu, určeného pro kování⁵

Výhody hydraulických lisů

- velká tvářecí síly,
- velikost zdvihu pracovního pístu,
- plynulá regulace rychlosti a tlaku,
- snadná reverzace pohybu pracovního pístu.

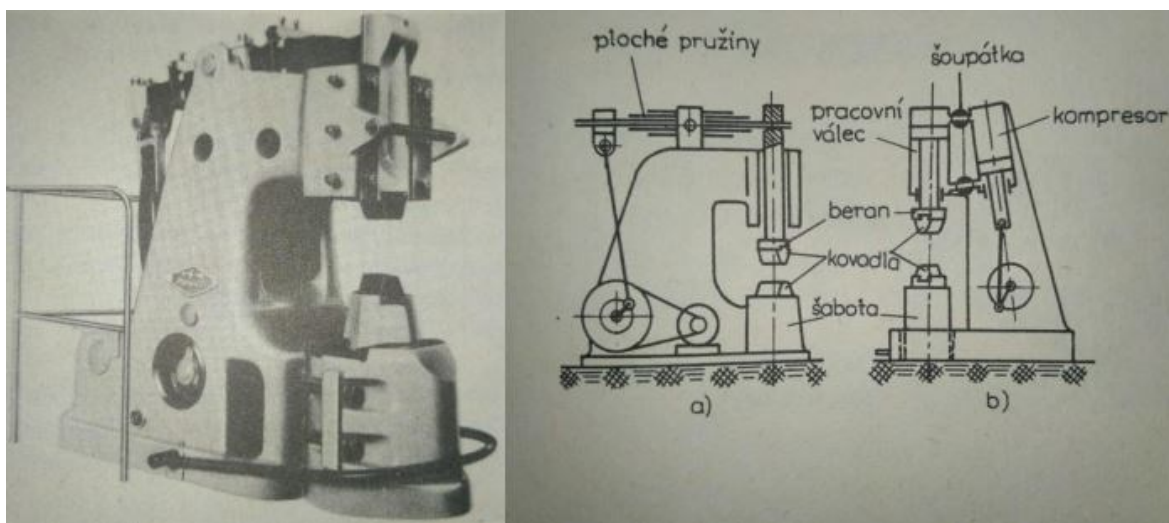
Nevýhody hydraulických lisů

- horší účinnost a složitost konstrukce pohonu,
- menší rychlost pohybu beranu,
- vyšší pořizovací náklady.⁵

Buchary

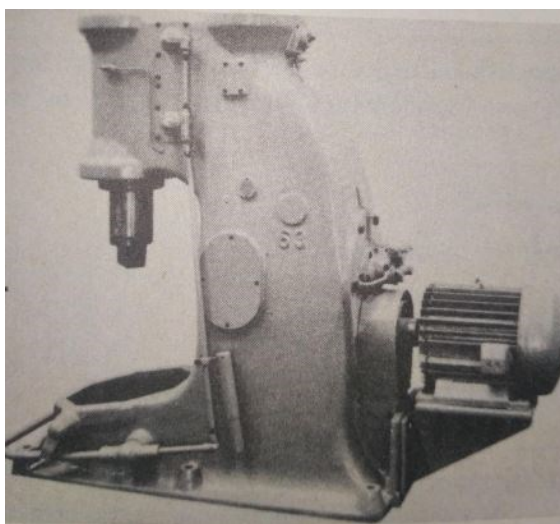
Jsou to tvářecí stroje, které pracují na principu přeměny kinetické energie na deformační práci. Buchary působí na tvářený materiál prostřednictvím úderů bucharů. Z materiálu odpadají okuje a povrch výkovku je následně čistý. Základní rozdělení bucharů je podle způsobu kování. To může být volné, zápustkové nebo plošné kování. Dále se buchary mohou rozdělit podle použitého pohonu. A to na pružinové, kompresorové, parovzdušné a hydraulické.⁷

Pružinové buchary (Obr. 4) patří mezi nejjednodušší tvářecí stroje, které jsou předurčeny k volnému kování. Z hlediska dosahovaných hodnot rázové energie patří pružinové buchary k menším bucharům vhodným pro kování malých výkovků.



Obrázek 4 – Pružinový buchar⁷

Kompresorové buchary (Obr. 5) jsou poměrně rozšířené stroje určené pro volné kování malých až středních výkovků, nebo pro předkování polotovarů. Existuje široká škála velikosti kompresorových bucharů a to od 0,5KJ do 30KJ. Hmotnost samotného beranu může být v rozmezí 40 – 1000kg.⁷



Obrázek 5 – Kompresorový buchar⁷

V průmyslových kovárnách jsou pro větší volné výkovky používány buchary parovzdušné. Tyto buchary jsou poháněny tlakovým vzduchem z provozního rozvodu tlakového vzduchu (páry). Konstrukce takových bucharů jsou buď jedno-stojanové nebo dvoj stojanové pro výkovky delších rozměrů.⁶

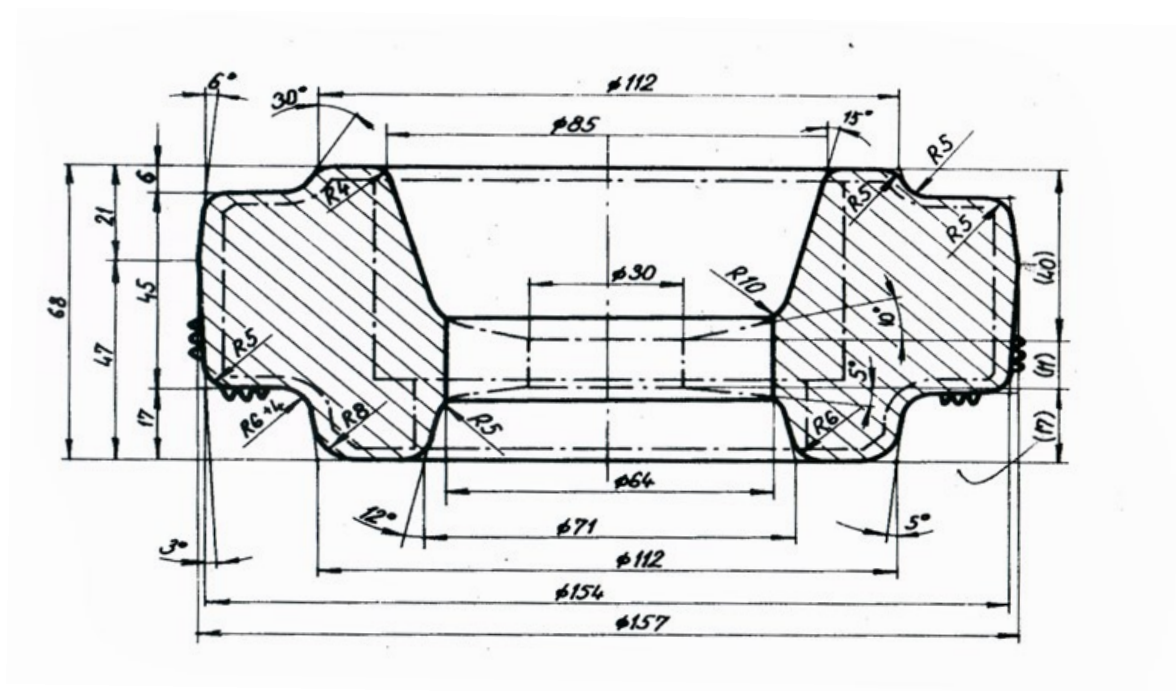
1.4 Zápustkové kování

Zápustkové kování se využívá při výrobě velkého počtu tvarově stejných součástí. Hlavním nástrojem je zápustka. Ta se skládá ze dvou částí, horní a spodní. Do spodní části zápustky se vkládá polotovar ohřátý na danou kovací teplotu. Tváření samotného polotovaru může probíhat úderem na bucharu nebo tlakem na lisu za pomoci horní části zápustky. Zápustka je vyrobená z nástrojové oceli se zvýšenou odolností proti vysokým teplotám a otěru. Její vnitřní prostor má tvar výkovku (obr. 6). Materiál, zahřátý na požadovanou teplotu, vložíme do spodní zápustky. Horní část zápustky je připevněna k lisu nebo k bucharu. Objem vloženého materiálu musí být zpravidla větší než objem našeho výkovku. Větší objem vloženého materiálu je z důvodu, aby se dokonale vyplnila dutina zápustky. Pro odvedení přebytečného materiálu, z důvodu většího objemu materiálu, se využívá výronková drážka. Tento výronek se po samotném kování odstříhne. Obsahuje-li výkovek průchozí díry, naznačíme je předkováním s tzv. blánou. Blána se posléze odstříhne nebo děruje. Po kování můžeme výkovek dát kalibrovat a tím zlepšit jakost povrchu a přesnost.

V porovnání s volným kovááním je u kování v zápustce menší počet stupňů volnosti při toku materiálu. Díky tomu lze dosáhnout přesnějšího tvaru výkovku, vyšší stupeň prokování a lepšího povrchu. Nevýhodou zápustkového kování je omezený rozměr a hmotnost výkovku vůči použitému stroji. Zápustkové kování vyniká obzvláště malým počtem operací. Tím je myšleno ohřev, kování, úprava výkovku a také krátkými pracovními časy. Když bychom použili indukční ohřev materiálu, čas ohřevu bude trvat několik desítek sekund. Oproti tomu časy na manipulaci s materiálem, jsou podstatně delší. Tyto parametry lze výrazně snížit automatizací a robotizací linky.

Zápustkové výkovky, tvarově jednodušší, můžeme kovat pouze v jediné zápustkové dutině z výchozího polotovaru, jedno-dutinové kování. Výkovky, které jsou tvarově složitější je možno kovat z předem připraveného předkovku, zpracovaný příčným válcováním nebo volným kovááním.

Nejrozšířenější případ zápustkového kování je v otevřené dokončovací dutině, přičemž její součástí je výronková drážka v samotné dělicí rovině, do které se vtlačuje přebytečný kov a vzniká tak výronek.²



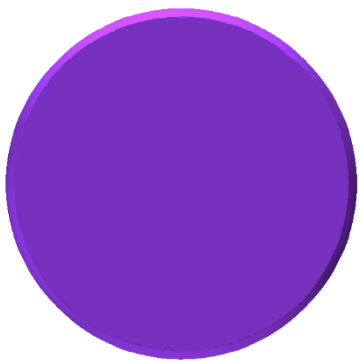
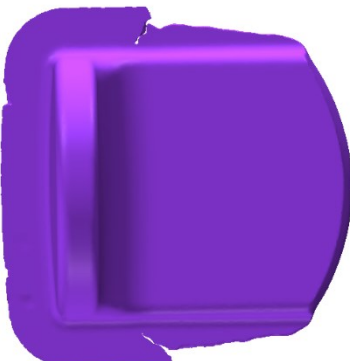



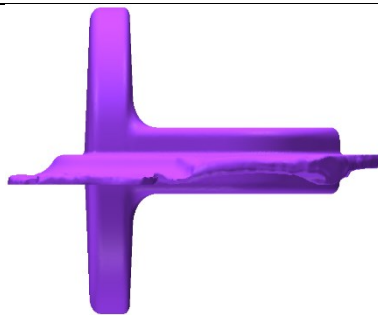
Obrázek 6 – Příklad navrženého tvaru výkovku ²

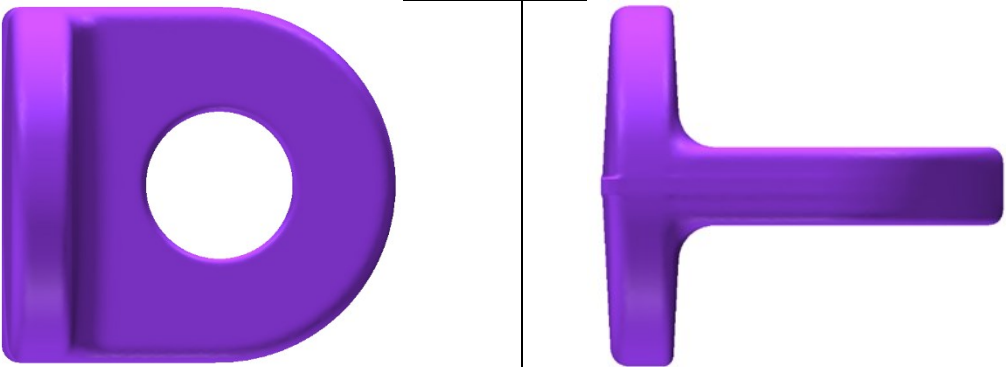
2 Současný stav kování zadané součásti

Experimentální část této práce je zaměřena na optimalizaci procesu kování zadaného dílce (viz. Příloha A), která tvarově reprezentuje výrobek, které je velmi často poptáván jako výkovek a jeho roční produkce v kovárně firmy Unex, a.s. se pohybuje v počtu tisíců kusů.

2.1 Technologický postup kování zadané součásti

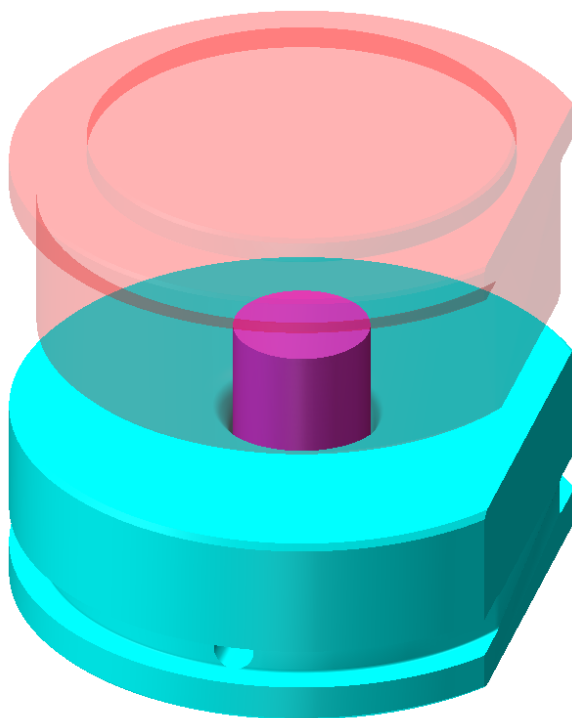
Tabulka 1 – Technologický postup

Operace	Podmínky	Poznámka
1) Dělení materiálu	ScKu 500.1: PELS 500	Polotovary pr. 70 mm stříhat na délku 96 mm. Kontrolovat hmotnost 2,9 kg (+0,2; -0,1 kg) v rozsahu min. 1 ks z každé tyče.
2) Indukční ohřev	SOP 630/1,5 – A30	Nastavení teploty třídičky: Dolní teplota: 1100 °C Horní teplota: 1200 °C
3) Kování	LZK 2500	Počet kovacíh operací: 3
1. operace	2. operace	3. operace
Pěchovat	Předlisovat	Lisovat na hotovo
		
		

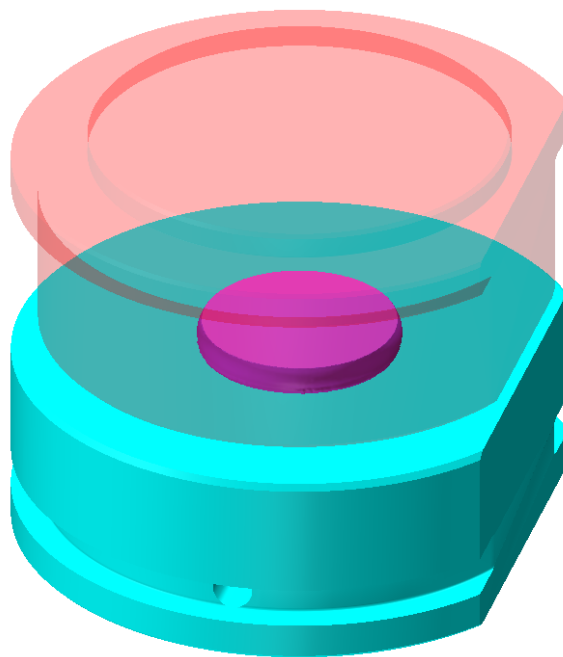
4) Ostřih	LDO 500 A	Ostříhnout výronek a prostříhnout blánu otvoru
		
5) Kontrola	Interval 30 minut	Kontrolovat tvar a rozměry dle platné výkresové dokumentace
6) Tepelné zpracování	Vozová pec ZEZ Praha RDO 10.20	Normalizačně žíhat dle programu č. 4. Kontrolovat tvrdost 147-185 HB
7) Tryskání	Bubnový tryskač PTB 3	-
8) Výstupní kontrola	-	Kontrolovat tvar a rozměry
9) Balení	Balič ruční	Balit dle platného předpisu

První technologickou operací při kování daného dílce je pēchování polotovaru (vsádky) o hmotnosti 2,9 kg (pr. 70 mm; délka přístřihu 96 mm). V rámci této operace je důležité přemístit objem materiálu, abychom byli schopni zajistit úplné zaplnění tvaru dutiny zápustek při následující (předlisovací) operaci. Z tohoto důvodu byla operace navržena tak, že se nejedná o volné pēchování mezi rovnými kovádky, ale o uzavřené pēchování s částečným napēchováním polotovaru, jak je ukázáno v TP (1. operace).

Výsledky provedené simulace jsou uvedeny na obr. 7 a 8, kde je uveden stav před realizací daného procesu pēchování (obr. 7). Na obr. 8 je uveden výsledek provedené simulace, tedy napēchování hlavy výkovku na výšku 16 mm a napēchování těla výkovku do kužele.

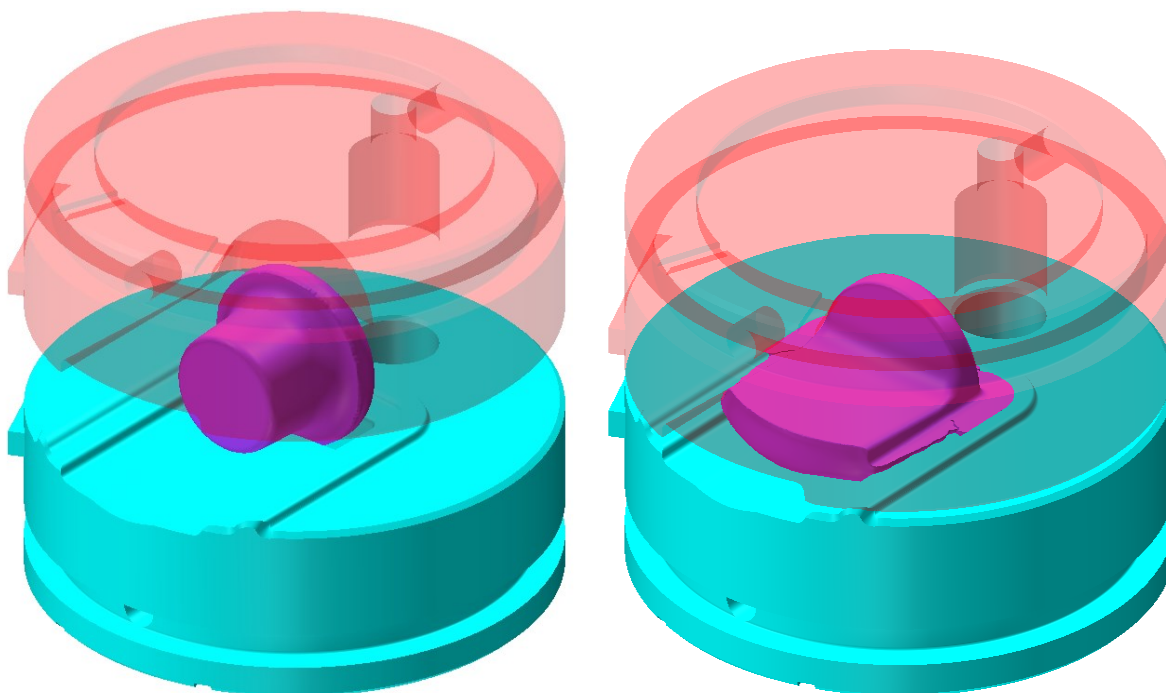


*Obrázek 7 – Výsledky simulace procesu pēchování
před procesem*



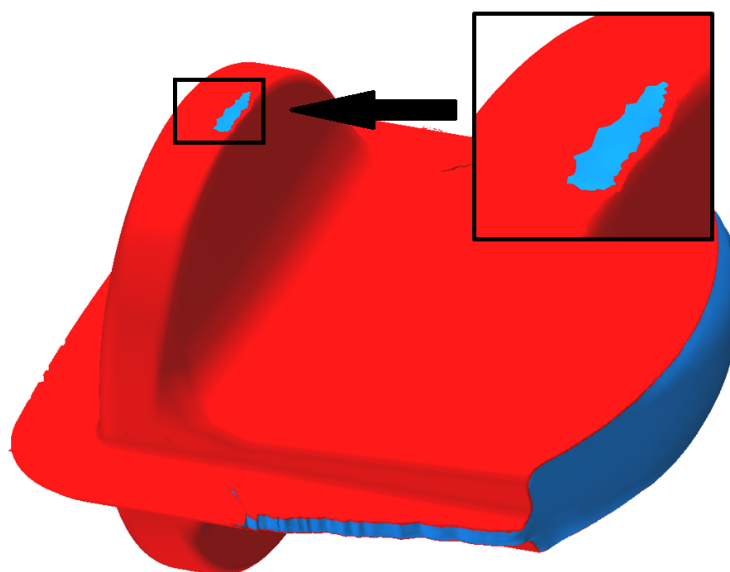
*Obrázek 8 – Výsledky simulace procesu pēchování
po procesu*

Ve 2. operaci je úmyslem předlisovat výkovek do tvaru, který tvarově odpovídá poslední (dokovací) operaci (obr. 9,10). Z hlediska možného vzniku nepřesností výkovku, zejména tzv. nedokovaných kusů, je tato technologická operace kritická, protože zde dochází k přelisoání hlavy výkovku na požadovaný průměr 100 mm. Při nedodržení předepsané vsádkové hmotnosti nebo špatnému napēchování z předchozí operace zde existuje vysoké riziko nedokování, jak je ukázáno na obr. 11, kdy bylo kalkulováno s nižší vsádkovou hmotností a nezajištění usměrnění přesunu materiálu brzdícími žebry.



Obrázek 9 – Výsledky simulace procesu lisování před procesem

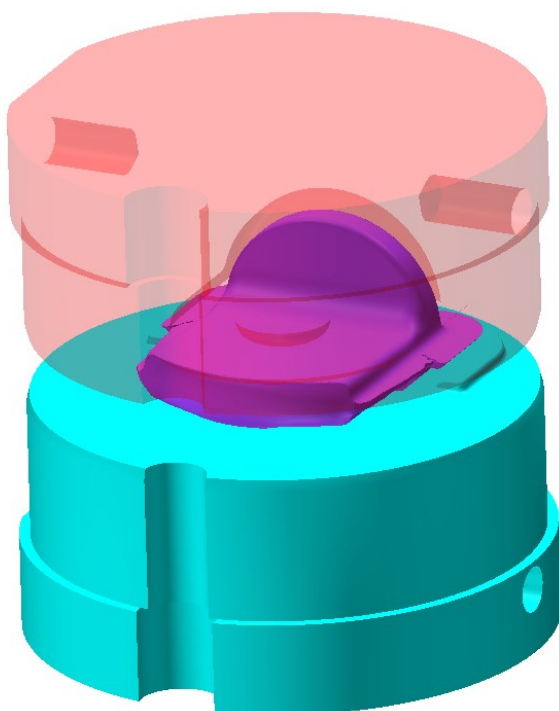
Obrázek 10 – Výsledky simulace procesu lisování po procesem



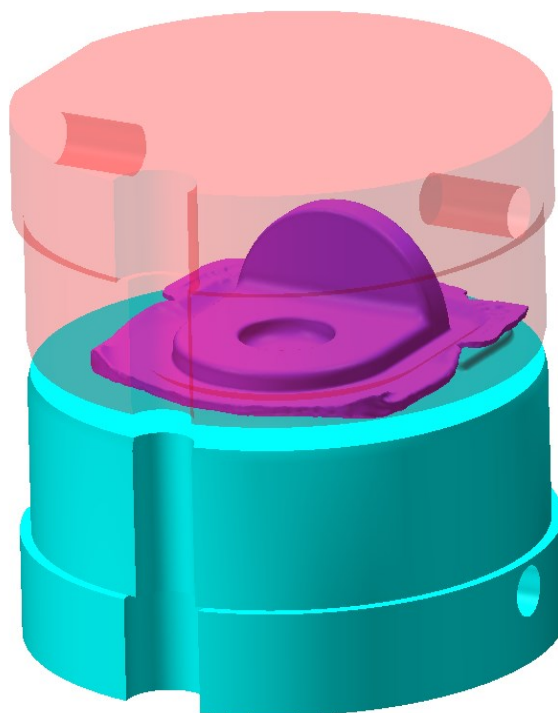
Obrázek 11 – Kontrola dokování výkovku v 2. operaci

V poslední operaci je výkovek dolisován na finální tvar a rozměry výkovku dle platné a schválené výkresové dokumentace. V porovnání s předchozí operací zde dochází k předkování průchozího otvoru a k vyražení označení výkovku (obr. 12,13), aby v případě neshody nebo reklamace výkovku byly všechny údaje dohledatelné. Z hlediska sil, vznikajících při přetvoření v 3. operaci, jsou nástroje pro dolisovací operaci umístěny v ose

stroje, kde je zaručena maximální síla dle nominální hodnoty daného stroje. V případě lisu LZK 2500 je jeho nominální síla 25 MN. Simulací bylo stanoveno, že při finální operaci vzniká kovací síla s maximální hodnotou 12,6 MN.



Obrázek 12 – Výsledky simulace procesu dolisování před procesem



Obrázek 13 – Výsledky simulace procesu dolisování po procesu

2.2 Kovací strojní zařízení

Výrobním sortimentem kovárny jsou zápustkové výkovky z uhlíkové, legované a konstrukční oceli o hmotnosti 2 až 25 kg. Vyrábějí výkovky rotačního a nerotačního tvaru. Současná výbava kovárny jsou tři klikové lisy, jeden protiběžný buchar a dvojčinný buchar.⁸

2.2.1 LKZ 2500

Jedná se o svislý klikový lis (obr. 14), který se používá pro výrobu zápustkových výkovků s využitím v automobilovém průmyslu, pro kování za tepla, s vysokou tuhostí a rozsáhlou diagnostikou, vč. moderních a přesných tuhých upínačů. Jehož technické parametry jsou uvedeny v tabulce 2.³



Obrázek 14 – Klikový lis LKZ 2500³

Tabulka 2 – Technické specifikace lisu LKZ 2500³

Typ lisu:	LKZ 2500
Tvářecí síla [MN]:	25
Sevření [mm]	905
Upínací plocha stolu [mm]	1340x1400
Upínací plocha beranu [mm]	1320x1100
Zdvih/Počet zdvihů [mm/mm-1]	320/65
Hydraulické přestavení beranu [mm]	10
Instalovaný výkon [kW]	130
Přestavování beranu	Ruční
Uvolňování beranu	ručním hydraulickým čerpadlem a hydraulickým pístem

2.2.2 Strojní nůžky PELS 500

Polotovary ve firmě Unex, a.s. se dělí za pomoci stříhání. Stříhání je oproti řezání 5x rychlejší a vzniká při tom menší odpad. Jako polotovary se nejčastěji používají kruhové nebo čtvercové tyče. Stříhací strojní nůžky PELS 500 (Obr. 15) disponují střížnou silou 5 MN a umožňují stříhat polotovary do průměru 80 mm.⁴



Obrázek 15 – Klikový lis pro stříhání vsádky PELS 500⁴

2.2.3 Indukční ohřev

Firma Unex a.s. využívá k výrobě celkem tři kovací linky s možností předehřevu polotovaru. Dvě ze tří těchto linek využívají indukční ohřev v pecích (linky pro lisy LZK) a jedna linka s plynovým ohřevem pro kování na bucharech. Tyto indukční pece mohou ohřát požadované polotovary do maximálního průměru 120 mm. K následnému přemístění do pracovního prostoru kovacího lisu slouží umístěný dopravník, jak je zobrazeno na Obr. 16.⁴



Obrázek 16 – Induktor pro ohřev vsádky na kovací teplotu⁴

2.2.4 Ostříhovací lis LDO 350

Samotné odstřížení blány a výronku se provádí na klikovém ostříhovacím lise LDO 350 (Obr. 17).⁴



Obrázek 17 – Ostříhovací lis LDO 350⁴

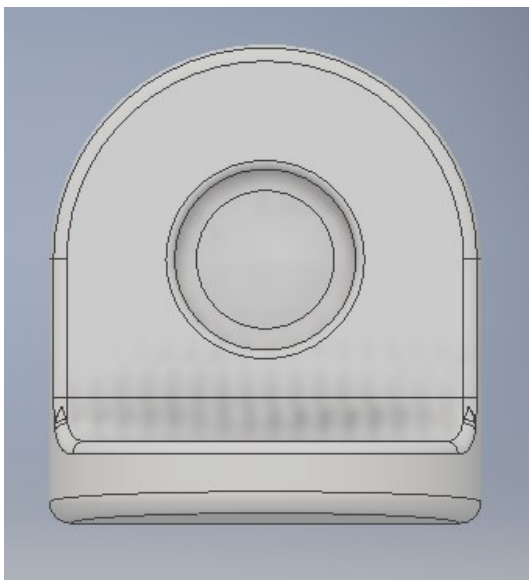
2.2.5 Tryskání

Ke zbavení okují firma UNEX a.s. používá bubnový tryskač PTB 3. Povrch výkovku je mechanicky očištěn abrazivními částicemi v podobě ocelových broků.⁴

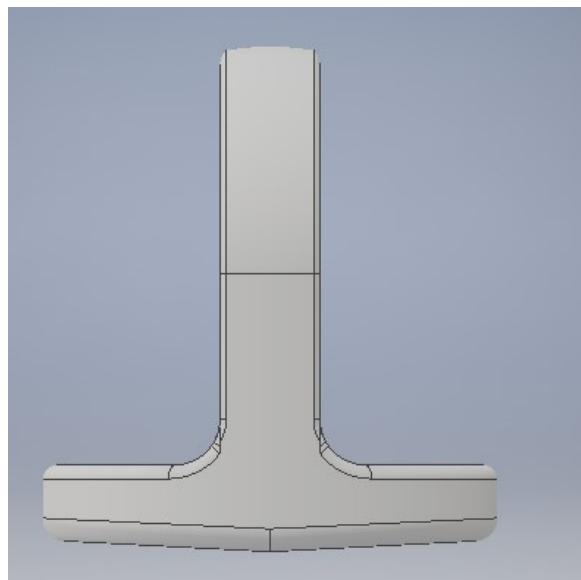
3 Návrh optimalizace řešení kování

Součást podle firmy Unex a.s. (viz. Příloha A) se vyrábí jako výkovek a jeho roční produkce se pohybuje v počtu tisíce kusů. Vzhledem k hmotnosti výkovku 2,3 kg (vsádková hmotnost 2,9 kg) a tvaru výkovku byla navržena možnost kování daného dílce v podobě dvojkusů. Dle předpokladů by tento návrh měl přinést zvýšení kapacitního využití lisu LZK 2500 (výkovky do 6 kg) a současně by se měla zvýšit produkce.

Optimalizace se bude týkat návrhu tvaru pēchovaného polotovaru s ohledem na přemístění požadovaného objemu pro zajištění úplného vyplnění dutiny zápustek ve 2., resp. 3. kovací operaci a návrh musí splňovat teoretická kritéria pro pēchovací operaci s možností snadného založení v navazujících technologických operacích.



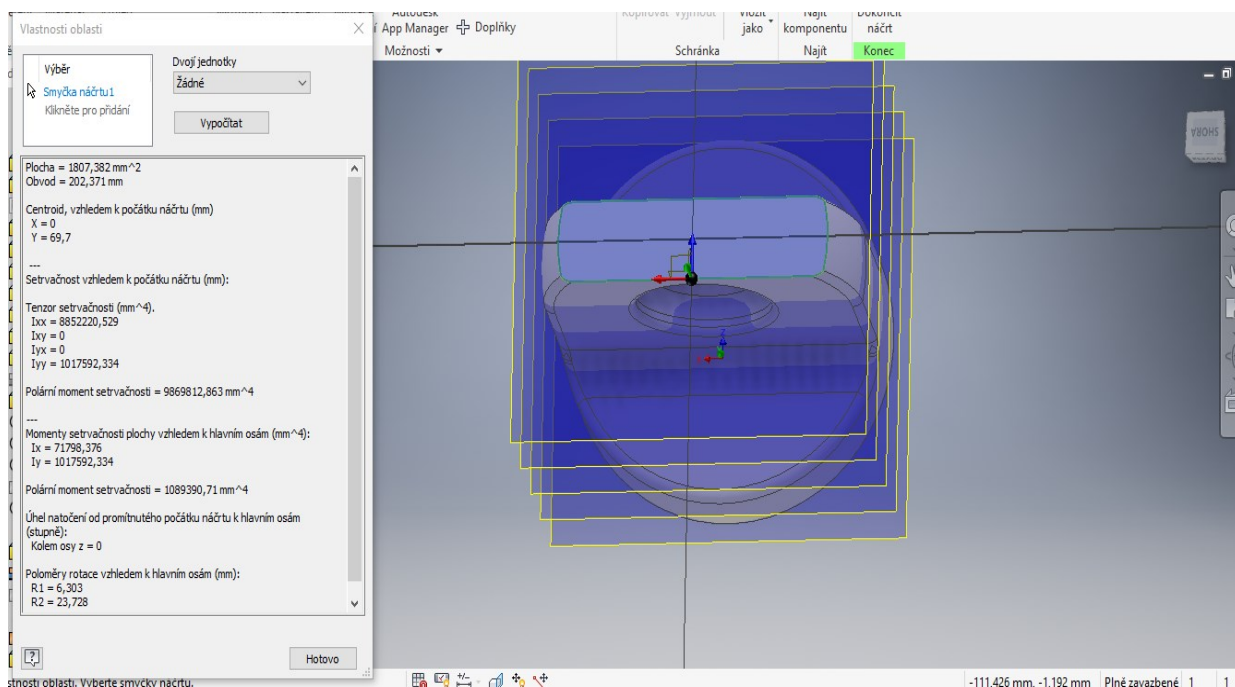
Obrázek 18 – Pohled na výkovek zepředu



Obrázek 19 – Pohled na výkovek z boku

3.1 Návrh rozměrů polotovaru

Z hlediska technologie je důležitou úlohou návrh rozměrů polotovaru. Polotovar bude mít kruhový průřez, který je definován průměrem. Pro návrh průměru polotovaru vycházíme z detailního rozboru tvaru a rozměrů výkovku, kdy je důležitým faktorem plocha v horní části výkovku, která je nejužší. Volba průměru dle nejužší části je prováděna z důvodu snahy omezit protlačování při pēchování do kužele a také z důvodu snadného založení v dané operaci. Na Obr. 20 je uveden snímek, zobrazující 3D model výkovku, ze kterého byla stanovena plocha pro výpočet průměru vstupního polotovaru.



Obrázek 20 – Výpočet plochy

Z Obr. 20 je patrné, že nejmenší plocha má velikost $1807,382 \text{ mm}^2$. Uvedená hodnota je základem pro návrh velikosti průměru polotovaru. Při známé ploše lze průměr vypočítat dle vztahu (1).

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} [\text{mm}] \quad (1)$$

kde:

d – průměr polotovaru [mm],

S – plocha řezu [mm^2],

π – Ludolfovo číslo [-].

Po dosazení hodnot do vzorce (1) vyšel výsledný průměr polotovaru 48 mm. S ohledem na normalizované průměry hutních polotovarů (tyčí) byl zvolen polotovar o vstupním průměru $d = 50 \text{ mm}$.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 1807,382}{\pi}}$$

$$d = 47,97 \text{ mm} \doteq 48 \text{ mm}$$

Dle zákona o zachování objemu lze na základě známé hodnoty objemu polotovaru a ploše podstavy dopočítat délku polotovaru, jak je uvedeno ve vzorci (2).

$$l_p = \frac{V}{S} [mm] \quad (2)$$

kde:

l_p – délka polotovaru [mm],

V – objem polotovaru [mm³],

S – plocha podstavy polotovaru [-].

Po úpravě vzorce (2) a dosazení byla vypočtena délka polotovaru a po zaokrouhlení tato hodnota byla 361 mm. Objem polotovaru byl odečten z iVlastností 3D modelu zadaného výkovku, který byl modelován v CAD software.

$$l_p = \frac{V}{\frac{\pi d^2}{4}}$$

$$l_p = \frac{707\,778,280}{\frac{\pi \cdot 50^2}{4}}$$

$$l_p = 360,46 \doteq 361 \text{ mm}$$

Optimalizace kování je myšlena ve smyslu technologické úpravy pýchovací operace, kde bude provedeno oboustranné pýchování do kužele. Zvolený způsob pýchování je založen na výpočtu poměru plochy průřezu a pýchované délky, který nesmí překročit kritickou hranici, která by značila riziko zborcení průřezu.

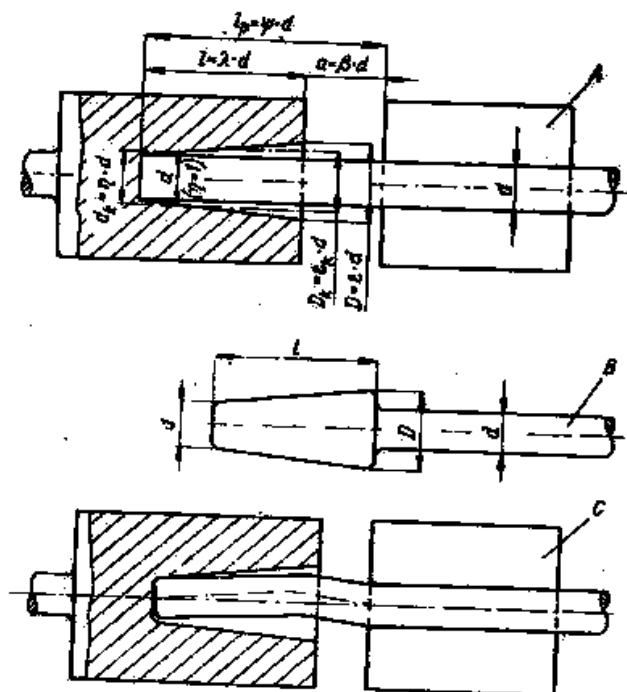
Počet potřebných náběrových úseků a příslušné rozměry pýchovací dutiny závisí především na poměru pýchované délky tyče k jejímu poměru, tj. na poměru l_p/d . Délka pýchované části tyče a poměr l_p/d jsou podmíněny objemem kovu, který se má nabrat. Tento objem se určuje podle konečného tvaru se započtením odpadu na výronek a opal.

Objem se vypočítává podle rozměrů výkovku za tepla a počítá se přitom se smrštěním a poloviční velikostí tolerancí. ⁹

První pravidlo pēchování pojednává, že na jeden zdvih stroje můžeme pēchovat na libovolný průměr jen tehdy, není-li pēchovaná část tyče delší než tři její průměry ($l_p < 3d$). K tomuto znění prvního pravidla je potřeba dodat, že někteří autoři uvádějí, že vzhledem ke kosému čelu a poškození polotovaru, k nimž dochází při předcházejícím pēchování, doporučuje se volit délku neopřené pēchované části tyče nejvýše $2,5d$.

Druhé pravidlo mluví o tom, máme-li pēchovat tyč, u níž délka pēchované části je větší než tři průměry tyče ($l_p > 3d$), nesmí průměr, na který se pēchuje, přesahovat hodnotu $1,5$ průměru výchozí tyče. Přitom se předpokládá, že konec tyče nepřesahuje dutinu lisovnice.

Třetí pravidlo. Je-li pēchovaná délka tyče větší než tři průměry ($l_p > 3d$) a pēchuje-li se na průměr $D = 1,5d$, nesmí volná část tyče vystupující z lisovnice být delší než jeden průměr výchozí tyče. Toto pravidlo bývá doplněno o pēchování v kuželovité dutině lisovníku. V praxi bylo ověřeno, že nejpriznivější podmínky pro náběr kovu jsou při pēchování v lisovníku s kuželovitou dutinou (viz. obr. 21). Důvodem pro to je lepší prohřátí přední části tyče a vliv rychlosti pohybu lisovníku, který uděluje rychlejší pohyb té části kovu, jež se nachází v přímé blízkosti jeho stěn.⁹



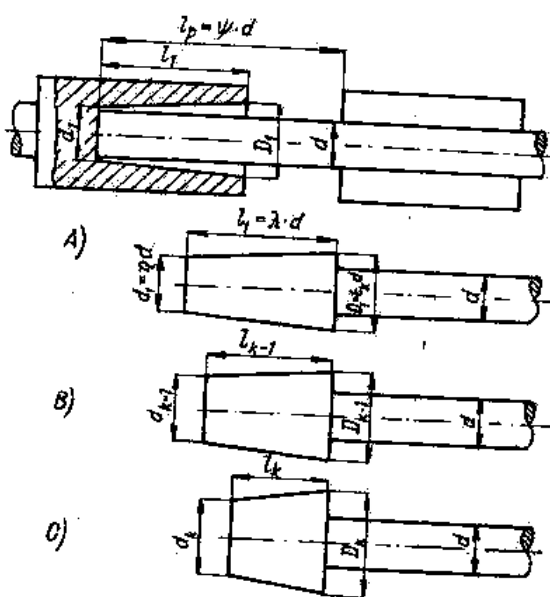
Obrázek 21 – Kuželovitá dutina⁹

3.2 Zpřesnění pravidla pro kuželovité pēchování

Třetí pravidlo pro pēchování v kuželovité části lisovníku stanoví pouze některé mezní hodnoty pēchování a hodnoty největšího průměru kužele D . Zůstává však nejasné, jak postupovat při jiném poměru těchto veličin a v praxi bylo nutno zkusmo a mnoha výpočty stanovit rozměry kuželovitého náběru d_k , D_k a l_k tak, aby délka pēchování nepřesahovala mezní hodnoty dané dvěma dílčími podmínkami podle třetího pravidla.

Následující výpočty jsou podle A. D. Tomlenova, který ukázal, že tato zadaná úloha může být řešena přesněji, když vyjdeme ze zřejmé okolnosti, že objem výchozího polotovaru se rovná objemu navrhované kuželovitě pēchované části při jakýchkoli kombinacích jejích rozměrů d_k , D_k a l .⁹

A. D. Tomlenov zavedl poměrné hodnoty prvků kuželovitého pēchovaného tvaru a polotovaru, které vycházejí z Obr. 22.



Obrázek 22 – Náběrové úseky⁹

$$\frac{l_p}{d} = \psi; l_p = \psi \cdot d \quad (3) \quad \frac{D}{d} = \varepsilon; D = \varepsilon \cdot d \text{ (při } \eta = 1) \quad (6)$$

$$\frac{d_k}{d} = \eta; d_k = \eta \cdot d \quad (4) \quad \frac{\alpha}{d} = \beta; \alpha = \beta \cdot d \quad (7)$$

$$\frac{D_k}{d} = \varepsilon_k; D_k = \varepsilon_k \cdot d \quad (5) \quad \frac{l}{d} = \lambda = \psi - \beta; l = \lambda \cdot d \quad (8)$$

Podle Tomlenovovi početní metody je doporučeno určovat rozměry kuželovité části lisovníku v následujícím pořadí:

- určit početní délku polotovaru l_p a potom poměrnou délku ψ
- vypočítat poměrnou délku přechování
- vypočítat poměrnou hloubku dutiny lisovníku
- stanovit hodnotu η
- vypočítat ε_k

Vynásobíme-li zjištěné poměrné rozměry hodnotou d (vzorce 3-8), dostaneme konečné rozměry kuželovité části lisovníku.

K výpočtu druhé, třetí a dalších kuželovitých dutin (viz. obr. 22) se doporučuje určit $d_{stř}$; nejdůležitější přitom je, že v případě poměru $\frac{l_p}{d_{stř}} < 2,5$, není zapotřebí následujícího naběrového úseku. Dále je pravidlem že v případě poměru $\frac{l_p}{d_{stř}} > 2,5$ je nutno pracovat s druhou dutinou a stanovit její rozměry stejně jako u první dutiny; za výchozí údaje volíme střední rozměr kužele a jeho délku.⁹

3.3 Početní řešení – kužely

- délka polotovaru byla již spočítána dříve ze vzorce (2)

$$l_p = 360,46 \div 361 \text{ mm}$$

- poměrná délka ψ

$$\psi = \frac{l_p}{d} \quad (9)$$

$$\psi = \frac{361}{50}$$

$$\psi = 7,220$$

- poměrná délka přechované části β

$$\beta \leq 1,2 + 0,2 \cdot \psi \quad (10)$$

$$\beta \leq 1,2 + 0,2 \cdot 7,22$$

$$\beta \leq 2,644$$

nejvyšší dovolená hodnota $\beta = 3$

- známe-li hodnotu β , snadno vypočítáme poměrnou hloubku dutiny lisovníku λ

$$\lambda = \psi - \beta \quad (11)$$

$$\lambda = 7,220 - 2,644$$

$$\lambda = 4,576$$

- poměrný menší průměr se doporučuje z konstrukčních důvodů volit v mezích:

$$\eta = 1 \text{ až } 1,2 \quad (12)$$

$$\eta \dots \text{volím si } 1,2$$

- poměrný větší průměr kuželovité dutiny razníku ε_k

$$\varepsilon_k = 1,73 \cdot \sqrt{\frac{\psi}{\lambda} - \left(\frac{\eta}{2}\right)^2} - \frac{\eta}{2} \quad (13)$$

$$\varepsilon_k = 1,73 \cdot \sqrt{\frac{7,220}{4,576} - \left(\frac{1,2}{2}\right)^2} - \frac{1,2}{2}$$

$$\varepsilon_k = 1,3$$

- **stanovení průměru D**

$$D = \varepsilon_k \cdot d \quad (14)$$

$$D = 1,3 \cdot 50$$

$$D = 65 \text{ mm}$$

- **určení $d_{stř}$**

$$d_{stř} = \frac{d+D}{2} \quad (15)$$

$$d_{stř} = \frac{65 + 50}{2}$$

$$d_{stř} = 57,5 \text{ mm}$$

- **délka kuželovitě přechovaného tvaru l_{pI}**

$$l_{pI} = \frac{3,82 \cdot V}{D_o^2 \cdot d_o^2 + D_o \cdot d_o} \quad (16)$$

$$l_{pI} = \frac{3,82 \cdot 707\,778,280}{65^2 \cdot 50^2 + 65 \cdot 50}$$

$$l_{pI} = 271 \text{ mm}$$

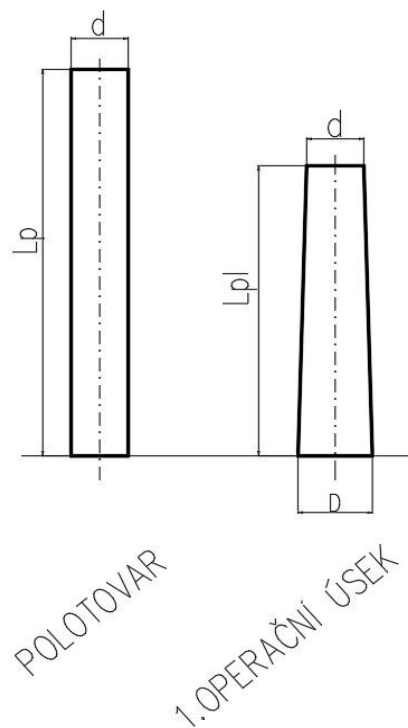
- **stanovení přechovacího poměru**

$$\frac{l_{pI}}{d_{stř}} = 4,7 \quad (17)$$

$$4,7 \nless 2,5$$

Z výsledku přechovacího poměru, vypočteného dle vzorce (17) je zřejmé, že s ohledem na velikost daného poměru není možné provést na jednu operaci. Je tedy nezbytné navrhnout 2 přechovací operaci.

Na Obr. 23 je uvedeno schematické zobrazení změny tvaru polotovaru po přechování do kužele.



Obrázek 23 – Schéma změny tvaru po 1 operační části

Postup výpočtu 2. operačního úseku přechování polotovaru do kužele je shodný s postupem uvedeným pro 1. přechování.

- **průměr menší základny d_1**

$$d_1 = \eta \cdot d$$

$$d_1 = 1,2 \cdot 50$$

$$d_1 = 51 \text{ mm}$$

$$\eta = 1,2$$

- **poměrná délka ψ**

$$\psi = \frac{l_{pI}}{d_{stř}}$$

$$\psi = \frac{361}{57,5}$$

$$\psi = 4,7$$

- **poměrná délka přechované části β**

$$\beta \leq 1,2 + 0,2 \cdot \psi$$

$$\beta \leq 1,2 + 0,2 \cdot 4,7$$

$$\beta \leq 2,14$$

- poměrná hloubka dutiny lisovníku λ

$$\lambda = \psi - \beta$$

$$\lambda = 4,7 - 2,14$$

$$\lambda = 2,56$$

- poměrný větší průměr kuželovité dutiny razníku ε_k

$$\varepsilon_k = 1,73 \cdot \sqrt{\frac{\psi}{\lambda} - \left(\frac{\eta}{2}\right)^2 - \frac{\eta}{2}}$$

$$\varepsilon_k = 1,73 \cdot \sqrt{\frac{4,7}{2,14} - \left(\frac{1,2}{2}\right)^2 - \frac{1,2}{2}}$$

$$\varepsilon_k = 1,5$$

- průměr větší základny D_1

$$D_1 = \varepsilon_k \cdot d_1$$

$$D_1 = 1,5 \cdot 51$$

$$D_1 = 76,5 \text{ mm}$$

- určení $d_{\text{stř}}$

$$d_{\text{stř}} = \frac{D_1 + d_1}{2}$$

$$d_{\text{stř}} = \frac{76,5 + 51}{2}$$

$$d_{\text{stř}} = 63,750 \text{ mm}$$

- délka kuželovitě přechovaného tvaru l_{pII}

$$l_{pII} = \frac{3,82 \cdot V}{D_1^2 \cdot d_1^2 + D_1 \cdot d_1}$$

$$l_{pII} = \frac{3,82 \cdot 707\,778,280}{76,5^2 \cdot 51^2 + 76,5 \cdot 51}$$

$$l_{pII} = 219 \text{ mm}$$

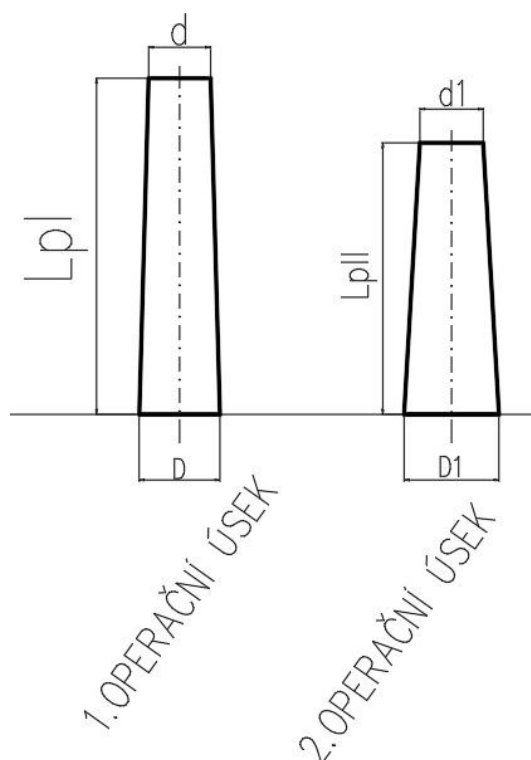
- stanovení přechovacího poměru

$$\frac{l_{pII}}{d_{\text{stř}}} = 3,4$$

$$3,4 \nless 2,5$$

Také v případě 2. přechovací operace nevychází přechovací poměr v požadovaných mezích, je tedy nutné kalkulovat s dalším přechovacím úsekem.

Na obr. 24 je opět znázorněno změna kuželu po 2. operaci.



Obrázek 24 – Schéma změny tvaru po 2 operační části

S ohledem na výsledek předchozího výpočtu je nutné zahrnout další operační úsek přechování do kužele. Výpočet byl opět shodný s předchozími výpočty.

- průměr menší základny d_2

$$d_2 = \eta \cdot d_1$$

$$d_2 = 1,2 \cdot 51$$

$$d_2 = 61,2 \text{ mm}$$

$$\eta = 1,2$$

- poměrná délka ψ

$$\psi = \frac{l_{pII}}{d_{Istř}}$$

$$\psi = \frac{219}{63,75}$$

$$\psi = 3,4$$

- poměrná délka přechované části β

$$\beta \leq 1,2 + 0,2 \cdot \psi$$

$$\beta \leq 1,2 + 0,2 \cdot 3,4$$

$$\beta \leq 1,88$$

- poměrná hloubka dutiny lisovníku λ

$$\lambda = \psi - \beta$$

$$\lambda = 3,4 - 1,88$$

$$\lambda = 1,52$$

- poměrný větší průměr kuželovité dutiny razníku ε_k

$$\varepsilon_k = 1,73 \cdot \sqrt{\frac{\psi}{\lambda} - \left(\frac{\eta}{2}\right)^2} - \frac{\eta}{2}$$

$$\varepsilon_k = 1,73 \cdot \sqrt{\frac{3,40}{1,52} - \left(\frac{1,2}{2}\right)^2} - \frac{1,2}{2}$$

$$\varepsilon_k = 1,77$$

- průměr větší základny D_2

$$D_2 = \varepsilon_k \cdot d_2$$

$$D_2 = 1,77 \cdot 61,2$$

$$D_2 = 108,3 \text{ mm}$$

- určení $d_{\text{stř}}$

$$d_{\text{Istř}} = \frac{D_2 + d_2}{2}$$

$$d_{\text{Istř}} = \frac{108,3 + 61,2}{2}$$

$$d_{\text{Istř}} = 84,75 \text{ mm}$$

- délka kuželovitě přechovaného tvaru l_{pIII}

$$l_{pIII} = \frac{3,82 \cdot V}{D_2^2 \cdot d_2^2 + D_2 \cdot d_2}$$

$$l_{pIII} = \frac{3,82 \cdot 707\,778,280}{108,3^2 \cdot 61,2^2 + 108,3 \cdot 61,2}$$

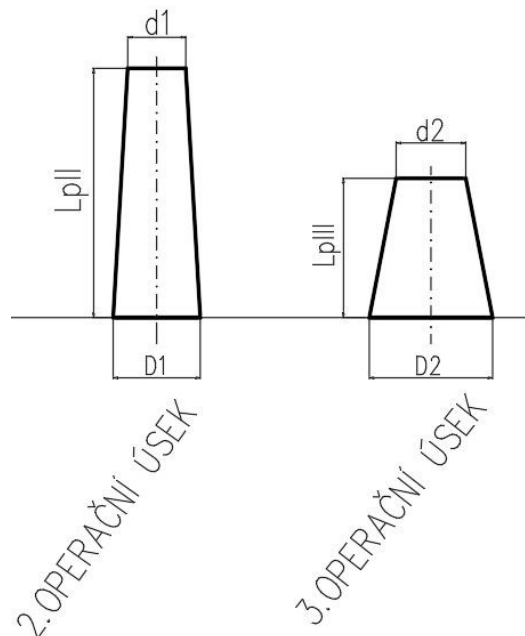
$$l_{pIII} = 122,3 \text{ mm}$$

- **stanovení pēchovacího poměru**

$$\frac{l_{pIII}}{d_{IIstř}} = 1,4$$

$$1,4 < 2,5$$

Výsledný tvar kužele po 3. úseku je zobrazen na Obr. 25.



Obrázek 25 – Schéma změny tvaru po 3 operační části

Na základě výsledku pēchovacího poměru lze konstatovat, že podmínka poměru délky k průměru je splněna a dodatečné výpočty již nejsou zapotřebí.

Ve skutečnosti ale musíme ještě jednu dutinu lisovníku spočítat, jelikož náš výkovek má maximální průměr 100 mm a hodnota u průměru D_2 vyšla 108,3 mm, a proto ho musíme upravit na 100 mm následujícím způsobem.

- **průměr větší základny D_3 si zvolíme 100 mm**

$$D_3 = 100 \text{ mm}$$

- **průměr menší základny necháme takovým, jaký jsme vypočítali v posledním kroku pro výpočet menší základny d_2 .**

$$d_2 = d_3 = 61,2 \text{ mm}$$

- určíme $d_{stř}$

$$d_{IIIstř} = \frac{D_3 + d_3}{2}$$

$$d_{IIIstř} = \frac{100 + 61,2}{2}$$

$$d_{IIIstř} = 80,6 \text{ mm}$$

- délka kuželovitě přechovaného tvaru l_{pIV}

$$l_{pIV} = \frac{3,82 \cdot V}{D_3^2 \cdot d_3^2 + D_3 \cdot d_3}$$

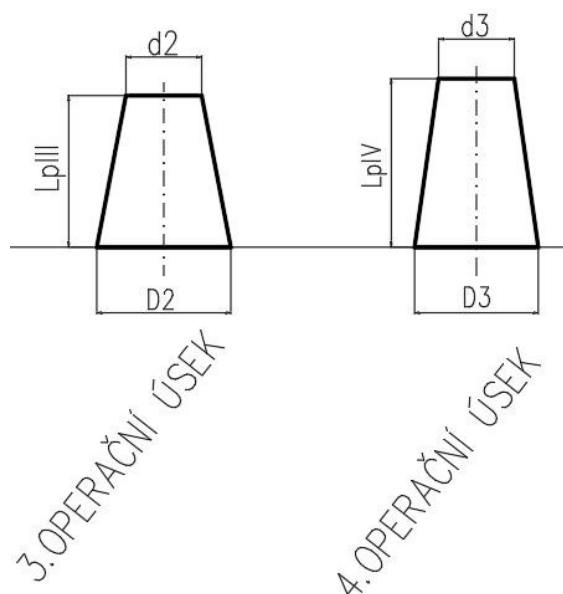
$$l_{pIV} = \frac{3,82 \cdot 707\,778,28}{100^2 \cdot 61,2^2 + 100 \cdot 61,2}$$

$$l_{pIV} = 136 \text{ mm}$$

Nově získané výsledky ještě zkontrolujeme na dovolený přechovací poměr.

$$\frac{l_{pIV}}{d_{IIIstř}} = 1,7$$

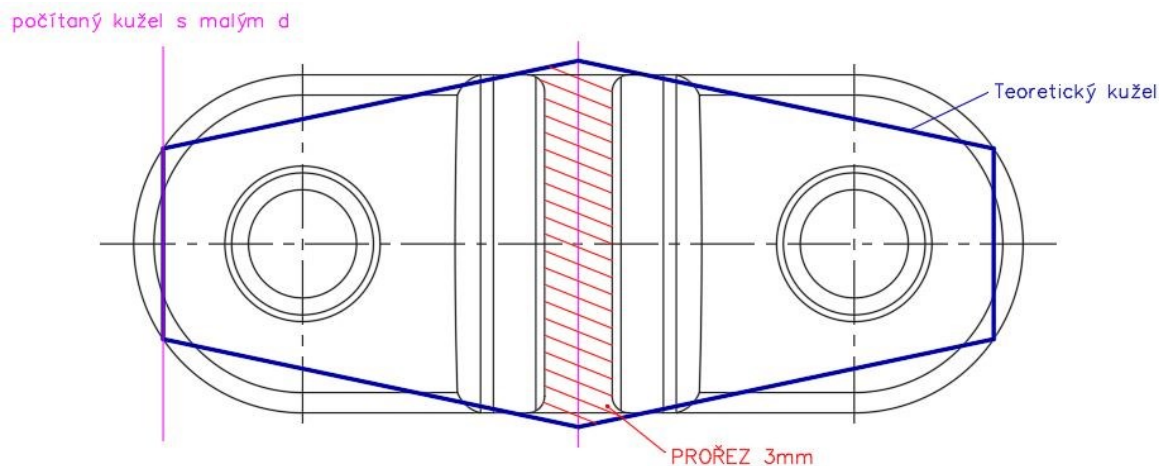
1,7 < 2,5 ... vyhovuje



Obrázek 26 – Schéma změny tvaru po 4 operační části

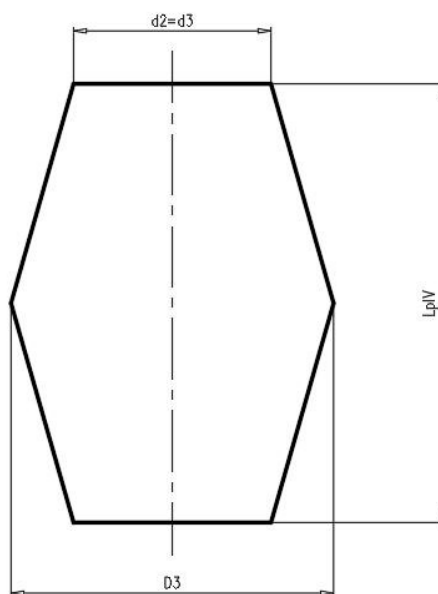
Na základě předchozího výpočtu je na Obr. 26 uveden tvar kužele po finálním naběrovém úseku.

Z předchozích výpočtů byly stanoveny rozměry kužele, vyhovující podmínkám přechovacím tlakům. Výsledek tedy zní $1,7D$. Takto zjištěný kužel má spodní základnu o velikosti D_3 , horní základnu o velikosti $d_2=d_3$ a výšce o velikosti l_{pIV} (viz. obr. 28). Tenhle výpočet nám posloužil pro 1 kužel. Ale my řešíme otázku výroby dvou kusů, tudíž musíme znát rozměry pro oboustranný teoretický kužel (viz obr. 27).



Obrázek 27 – Oboustranný teoretický kužel

Pro jeden kužel nám vyšla výška 136 mm, takže pro dva oboustranné kužely (obr. 28) tuhle výšku/délku rozdělíme na 2 stejné délky s výsledkem, že jeden kužel je vysoký 68 mm. V příloze této bakalářské práce se nachází soubor v excelu, sloužící pro rychlejší výpočty kuželů vč. stanovení poměru a určení zda kužel vyhovuje/nevyhovuje daným pravidlům přechování.



Obrázek 28 – Rozměry oboustranného kužele

3.4 Stanovení polotovaru pro přechování

Původní varianta vychází z vsádkové hmotnosti 2,9 kg. Tzn., že pro kování byl použit polotovar ve tvaru tyče o rozměrech $\phi = 70$ mm a délky $l = 96$ mm. V novém návrhu, který zahrnuje koncept kování zadané součásti jako dvojkus, byl stanoven polotovar s vstupními rozměry $\phi = 50$ mm a délky $l = 361$ mm, přičemž vsádková hmotnost je 6 kg.

Jednotlivé hmotnosti byly stanoveny z výkresové dokumentace, která byla poskytnuta firmou UNEX a dopočteny dle vzorců (18) a (19). V Tab. 3 jsou uvedeny hodnoty hmotnosti výkovku a vsádkové hmotnosti pro současnou variantu kování, tedy jako jeden kus. V Tab. 4 jsou uvedeny hmotnosti výkovku a vsádky pro navržený postup kování dílce jako dvojkus.

Tabulka 3 – Váhy pro výrobu jedno-kusu

Výkovek-jedno-kus	
Váha výkovku	2,3 kg
Vsádková hmotnost	2,9 kg

Tabulka 4 – Váhy pro výrobu dvoj-kusu

Výkovek-dvoj-kus	
Váha výkovku	4,6 kg
Vsádková hmotnost	6,0 kg

$$\text{Vsádková hmotnost} = (\text{Váha výkovku}) + (\text{hmotnost výronku}) \quad (18)$$

$$\text{Vsádková hmotnost} = 2,3 + 0,6 = \mathbf{2,9 \text{ kg}}$$

$$\text{Vsádková hmotnost} = (2 \cdot \text{Váha výkovku}) + (2 \cdot \text{hmotnost výronku}) + (\text{prořez}) \quad (19)$$

$$\text{Vsádková hmotnost} = (2 \cdot 2,3) + (2 \cdot 0,6) + (0,2) = \mathbf{6,0 \text{ kg}}$$

4 Detailní rozbor na návrh pro výrobu dvojkusů

Cílem práce bylo prověření ekonomičnosti výroby zadané součástí jako dvojkus, jelikož se současná výroba zabývá pouze pro výrobu jednokusů. Současný výrobní takt pro výrobu výkovku pro jednokus činí okolo 0,4 minut na kus. Což je přibližně 25 sekund. U výkovku hraje tu nejpodstatnější roli náklady na nakoupení oceli. Tu se snaží ve firmě Unex a.s. co nejlevněji nakoupit a v první řadě taktéž, co nejrychleji zpracovat.

Tím, že zkoumáme porovnání výroby jednokusu a dvojkusů, je patrné že váha výkovku pro dvojkus má dvojnásobnou hmotnost. Dvojnásobná hmotnost pro provoz lisu znamená, že zvyšujeme jeho ekonomičnost provozu pro výrobu výkovků. Samotná otázka, která se týká rozpíchnutí/rozdělení dvojkusů. Náklady na rozpích se zakomponují do režie dílce při interním obrábění.

S ohledem na požadavek nezveřejnění cenových relací jednotlivých položek v rámci technologického postupu výroby daného dílce je ekonomické porovnání obou variant kování provedeno na základě výpočtu normy kování, která stanovuje časovou náročnost kování.

Při výpočtu normy času kování je důležité zakalkulovat také režim ohřevu vsádky na kovací teplotu, tato norma je vztažena ke kapacitě indukční pece, které je přidružena do kovací linky k lisu LZK 2500.

Výpočet normy ohřevu (20) byl proveden v souladu s: „*Manuálem technologa kovářny*“.

$$X = \frac{4500}{\text{vsádková hmotnost}} \text{ [ks]} \quad (20)$$

Po dosazení do vzorce 20 vychází počet ohřátých kusů v peci **1151 ks** (původní varianta) a **750 ks** (pro realizaci kování dvojkusů).

Norma kování (21) zahrnuje čas kovacího stroje, který je efektivně využit na kování.

$$\text{norma} = \frac{450}{X} \text{ [min. ks}^{-1}\text{]} \quad (21)$$

V případě původní varianty vyšla norma kování 0,29 min/ks, ale s ohledem na standardy je minimální hodnota normy kování **0,4 min/ks**. V případě kování dvojkusů byla vypočtená hodnota normy kování **0,6 min/ks**. Rozdíl mezi normami je marginální a tudíž

byla potvrzena vhodnost provedených úprav, jelikož je zřejmé, že za relativně srovnatelný kovací čas lze vyrobit 2 ks výkovků místo původně jednoho kusu.

Závěr

Účelem bakalářské práce bylo prověření ekonomičnosti výroby jako dvojkus. Zadanou součást vyrábí firma Unex a.s. v, jejíž produkce této součásti činí za rok několik tisíc.

V úvodní části se bakalářská práce věnuje rešerši v oblasti problematiky volného a zápustkového kování. V této oblasti je stručně popsána nejdříve problematika volného kování. Od dějin tváření až do dob, kdy hlavní práci konají stroje. Po ní je věnována část zápustkového kování.

Další kapitola odkrývá stávající postup výroby a její technologický postup. Součástí technologického popisu jsou aj. vytvořené simulace s popisy jednotlivými kroky operací vč. obrázků pro lepší představu. Následuje výpis a představení kovacích strojních zařízení, kterými firma disponuje. To všechno spadá do oblasti teoretické části bakalářské práce.

V praktické části jsem se zabýval návrhu nástrojů pro kování – kužely. Navržení rozměrů i stanovení polotovaru pro výrobu dané součásti jako dvojkus. Samotné výpočty spočívali v určení průměru a délky polotovaru a jejich dalších operací. Ve sledu výpočtů se nacházejí jednoduché náčrty vypočtených kuželů ke zlepšení představivosti a názornosti. Výsledek vyhovující podmínka přechování, které jsou součástí výkladu u výpočtu, nám vyšel na čtvrtý stanovený kužel.

Na základě dosažených výsledků, v podobě výroby toho samého dílce, akorát v podobě dvojkusů, můžeme konstatovat, že za téměř stejný srovnatelný čas, vyrobíme dvojnásobný počet dílů.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Ondřeji Hilšerovi za jeho obětavou spolupráci, čas a poskytnutí informací potřebných k tvorbě bakalářské práce.

Dále bych chtěl rovněž poděkovat panu Ing. Tomáši Brumarovi za jeho pomoc při tvorbě a poskytnutí potřebných informací pro praktickou část bakalářské práce.

Seznam použité literatury

- [1] HAŠEK, V. a kol. Kování. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1965. 732 s.
- [2] ELFMARK, J. a kol. Tváření kovů. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1992. 524 s. ISBN 80-03-00651-1.
- [3] *SMERAL* [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/8/lzk-2500-p-sh>
- [4] *Návrh technologického postupu výroby součástí technologií zápusťkového kování* [online]. Ostrava, 2019 [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/137031/PIE0045_FS_B2341_2303R002_2019.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. VŠB-TU. Vedoucí práce Ing. Ondřej Hilšer.
- [5] *HYDRAULICKÉ LISY SOUČASNÉ PRODUKCE* [online]. Brno, 2010 [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=27507. Bakalářská práce. VUT Brno. Vedoucí práce Ing. Petr Blecha, Ph.D.
- [6] *ELUC* [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1851>
- [7] KVAPIL Jan: Stroje využívané ve tváření. Brno, 2011. 30 s., 6 příloh, CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí bakalářské práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
- [8] *UNEX - Strojírensko-metalurgická společnost* [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.unex.cz/cs>
- [9] BRJUCHANOV, A.N. a A.V. REBELSKIJ. *Zápusťkové kování II: KOVÁNÍ NA KLIKOVÝCH LISECH A VODOROVNÝCH KOVACÍCH STROJÍCH*. 1956. PRAHA: Státní nakladatelství technické literatury, 1956.

Seznam příloh

[A] Výkresová dokumentace